

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-034925

(43)Date of publication of application : 05.02.2002

(51)Int.Cl.

A61B 3/14

(21)Application number : 2000-
220663

(71)Applicant : TOHOKU TECHNO
ARCH CO LTD

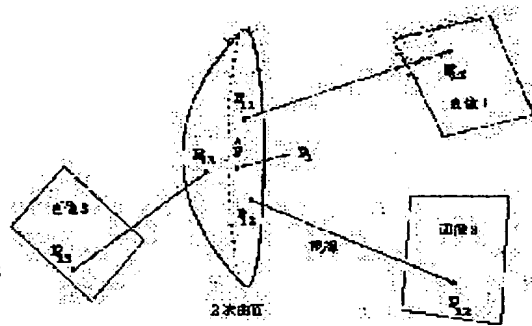
(22)Date of filing : 21.07.2000 (72)Inventor : DEGUCHI KOICHIRO

(54) METHOD AND DEVICE FOR RESTORING THREE-DIMENSIONAL FUNDUS PATTERN FROM SUPERPOSITION OF FUNDUS IMAGES PHOTOGRAPHED FROM MANY DIRECTIONS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To three-dimensionally restore and display a fundus shape from fundus images photographed from many directions.

SOLUTION: When the lens of an organism eye is modeled into a single lens and the fundus shape is presumed substantially spherical, an image of the spherical surface by the single lens is on a quadratic surface, so that it can be presumed that a camera photographs the quadratic surface from various directions. From the superposition of feature points included commonly in the plurality of fundus images on the quadratic surface, the quadratic surface shape, and the position and attitude of the camera photographing each image are estimated. Parameters of the single lens are computed from the quadratic surface shape, and then the fundus shape can be restored.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's

decision of rejection]

[Kind of final disposal of application
other than the examiner's decision
of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for
application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-34925

(P2002-34925A)

(43) 公開日 平成14年2月5日 (2002. 2. 5)

(51) Int.Cl.⁷

A 6 1 B 3/14

識別記号

F I

A 6 1 B 3/14

テーマコード* (参考)

J

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2000-220663 (P2000-220663)

(22) 出願日 平成12年7月21日 (2000. 7. 21)

(71) 出願人 899000035

株式会社 東北テクノアーチ

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468番地

(72) 発明者 出口 光一郎

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉無番地 亀

岡住宅13-22

(74) 代理人 100098729

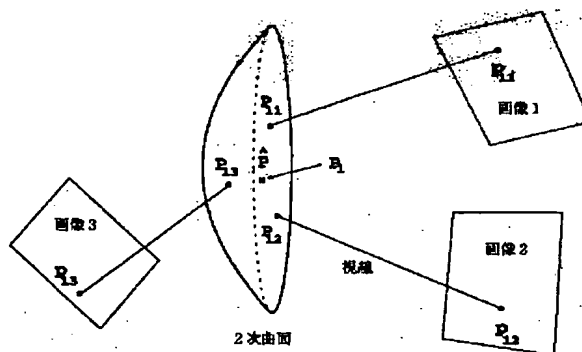
弁理士 重信 和男 (外1名)

(54) 【発明の名称】 多方向から撮影した眼底画像の重合せによる眼底3次元パターンの復元法及び装置

(57) 【要約】

【課題】 多方向から撮影した眼底画像から眼底形状の3次元復元・表示をすること。

【解決手段】 生体眼のレンズを単レンズでモデル化し、眼底の形状がほぼ球面であることを用いると、単レンズによる球面の像は2次曲面となり、カメラはこの2次曲面を様々な方向から撮影したものとみなせることから、複数の眼底画像に共通に含まれている特徴点を、2次曲面上で重ね合わせることにより、2次曲面の形状と各画像を撮影した時のカメラのそれぞれの位置・姿勢を推定し、2次曲面の形状から単レンズのパラメータを求め、眼底の形状を復元することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 (A) 多方向から撮影された複数の眼底画像から対応点を検出する手段、(B) 該対応点に基づいて各眼底画像を撮影したカメラの位置及び姿勢を推定する手段、(C) 該推定されたカメラの位置及び姿勢に基づいて眼底面の眼の光学系を通した像である2次曲面を求める手段、(D) 眼の光学系を同定する手段、(E) 眼底球面を同定する手段、(F) 該同定された眼底球面への眼底パターンの逆投影をおこなう手段、及び(G) 3次元眼底パターンを表示する手段を備えており且つ眼底画像から眼底形状を3次元復元及び／又は表示することの特徴とする装置。

【請求項2】 (1) 多方向から撮影された複数の眼底画像をデジタル映像化して保持する手段、(2) 各画像から対応点を検出する手段、(3) 該対応点に基づいて各眼底画像を撮影したカメラの位置及び姿勢を最適化する手段、(4) 該最適化されたカメラの位置及び姿勢に基づいて眼底面の眼の光学系を通した像である2次曲面を最適化する手段、(5) 眼の光学系を同定する手段、(6) 眼底球面を同定する手段、(7) 該同定された眼底球面への眼底パターンの逆投影をおこなう手段、及び(8) 3次元眼底パターンを表示する手段を備えていることを特徴とする請求項1記載の装置。

【請求項3】 (a) 多方向から撮影された複数の眼底画像を保持する手段、(b) 該複数の眼底画像をデジタル画像に変換する手段、(c) 複数の眼底画像から画像間で対応する点を抽出する手段、(d) 検出されたそれぞれの対応画像点から光線追跡をして、対応点どうしが空間で出会う点のすべてが2次曲面上に乗るように、各カメラの位置、姿勢を最適化計算する手段、(e) 上記の空間の対応点が一番よく乗る2次曲面を最適化計算する手段、(f) 上記の2次曲面に、眼底球面が写像されるような、眼のレンズに相当する光学系を求める手段、(g) 該光学系で上記の2次曲面に写像されるような、眼底球面の位置及び半径を求める手段、(h) 上記で同定された光学系を通して、上記で同定された眼底球面上へ、眼底画像上のパターンを逆投影する手段及び(i) 得られた眼底の3次元パターンを可視可能に表示する手段を含有していることを特徴とする請求項1又は2記載の装置。

【請求項4】 眼球内部の半球をカバーするに十分な数の眼底画像を使用することを特徴とする請求項1～3のいずれか一記載の装置。

【請求項5】 眼底カメラを備え且つ眼底カメラの撮像部がデジタルカメラに置き換えられていることを特徴とする請求項1～4のいずれか一記載の装置。

【請求項6】 (A) 多方向から撮影された複数の眼底画像から対応点を検出し、(B) 該対応点に基づいて各眼底画像を撮影したカメラの位置及び姿勢を推定し、(C) 該推定されたカメラの位置及び姿勢に基づいて眼底面の眼の光学系を通した像である2次曲面を求め、(D) 眼の光

学系を同定し、(E) 眼底球面を同定し、(F) 該同定された眼底球面への眼底パターンの逆投影をおこない、そして(G) 3次元眼底パターンを表示することの特徴とする眼底画像から眼底形状を3次元復元及び／又は表示する方法。

【請求項7】 (1) 多方向から撮影された複数の眼底画像をデジタル映像化して保持し、(2) 各画像から対応点を検出し、(3) 該対応点に基づいて各眼底画像を撮影したカメラの位置及び姿勢を最適化し、(4) 該最適化されたカメラの位置及び姿勢に基づいて眼底面の眼の光学系を通した像である2次曲面を最適化し、(5) 眼の光学系を同定し、(6) 眼底球面を同定し、(7) 該同定された眼底球面への眼底パターンの逆投影をおこない、そして(8) 3次元眼底パターンを表示することの特徴とする請求項6記載の方法。

【請求項8】 (a) 多方向から撮影された複数の眼底画像を保持せしめ、(b) 該複数の眼底画像をデジタル画像に変換せしめ、(c) 複数の眼底画像から画像間で対応する点を抽出し、(d) 検出されたそれぞれの対応画像点から光線追跡をして、対応点どうしが空間で出会う点のすべてが2次曲面上に乗るように、各カメラの位置、姿勢を最適化計算し、(e) 上記の空間の対応点が一番よく乗る2次曲面を最適化計算し、(f) 上記の2次曲面に、眼底球面が写像されるような、眼のレンズに相当する光学系を求め、(g) 該光学系で上記の2次曲面に写像されるような、眼底球面の位置及び半径を求め、(h) 上記で同定された光学系を通して、上記で同定された眼底球面上へ、眼底画像上のパターンを逆投影し、次いで(i) 得られた眼底の3次元パターンを可視可能に表示することを特徴とする請求項6又は7記載の方法。

【請求項9】 眼球内部の半球をカバーするに十分な数の眼底画像を使用することを特徴とする請求項6～8のいずれか一記載の方法。

【請求項10】 眼底のデジタル画像の取得が、眼底カメラの撮像部をデジタルカメラで置き換えて直接にデジタル映像化を果たすか、あるいは眼底写真をスキャナーによりデジタル化することを特徴とする請求項6～9のいずれか一記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、複数の眼底画像から実際の眼底に近いパターンの3次元的配置を復元し、立体表示する装置及び方法に関する。本発明は、眼底形状がほぼ球面とみなせることをもとに、眼底カメラにより得られた複数の画像から立体復元に必要な眼球の光学系のパラメータを推定し、眼底の立体パターンを復元・表示する装置及び方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 眼底とは眼球の内面部のことであり、そこは血管や神経が直接見られる、人体内では数少ない部

分の一つである。そのため、眼底画像は眼の疾患のみでなく、全身の疾患の診断などに利用でき大変有用である。そこで多くの医者などの専門家は、眼球内部をもっと広く、しかも立体的に見ることができ且つ実際の配置状態を正確に知りたいという要望を強くもっている。ところで、眼底画像は専用のカメラで撮影される。このカメラには、患者の瞳を通して眼の内部を照らし、なおかつ瞳からカメラへの照り返しを防ぐ工夫が施されている。眼底カメラと、眼底撮影の際の光学的な配置を図1に示す。眼底撮影装置の視野角は50度程度である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、眼底撮影カメラを用いて得られる画像は視野が狭く、二次元表示であるし、眼球内部の半球をカバーするような複数の眼底写真を撮影して、それらを一枚の画像に合成しようとしても、撮影時点でのカメラの眼球に対する相対的な位置データが不明であり、しかも球面状の眼底を平面画像に投影したものであるので、画像の端では絵が合わず、画像合成ができないとの問題があった。これまで、各眼底カメラの位置を既知とし、さらに、眼底カメラの光学系の校正を事前に行った上で、3次元パターンを復元する手法というものが提案されている（出口光一郎、川又大典、水谷香苗、本谷秀堅、若林貴和：「眼底画像からの眼底形状の3次元復元・表示」、98-CVIM-111-7, pp. 49-56, 1998-5）。

【0004】しかしながら、図1中の点線より右側の光学系は校正できるが、左側は個人差があるため校正できない。つまり、実際の眼底は形状が球面であり、その球面を撮影して得られる眼底画像はあくまでも無理に平面に表示したものでしかなく、さらにその眼底画像は、個人差のある角膜および水晶体（眼球のレンズとして働く）や硝子体（眼球内部を満たしている液体）を通して撮影されたものでしかなく、眼底画像は患者の眼の光学系により歪んでいる。ところが、この眼の光学系には上記したように個人差があり、しかも刻々とそれは変化するため、それを校正できない。つまり、予め眼球の光学系（個人差があり、しかも刻々と変化する）を同定しておいて画像を補正して復元に使用するなどということは不可能である。このため、画像からの3次元形状復元にいわゆるステレオの原理を用いることはできない。

【0005】このように眼底撮影カメラを用いて得られる画像は平面的なもので、眼底血管などの立体的な位置関係を正確に把握するには難がある（個人差のある眼の光学系を無視した眼底画像の復元では、にせの像しか復元できない）。ところが、眼底パターンの空間的な配置を正確に復元し、立体表示することができれば、そして有用な眼底の画像につき、広範囲にわたる3次元表示ができれば、医師間のオリエンテーションやレーザー治療のための位置表示などに役立つと期待されている。例え

ば、眼底に生じた出血などをレーザーなどを使用して外科的に止血するなどの治療を行う場合には、正確な血管などの位置を決めて治療にあたるがその位置が直ぐには分からず問題であった。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、様々な角度より取得した複数枚の眼底画像から、眼底形状を復元・表示する方法及び装置を提供するにある。本発明は、データとして与えられた眼底画像と、各個人に共通する眼球の特性のみから、眼底画像の立体形状復元に必要なパラメータを決める方法及び装置を提供するものである。本発明は、様々な箇所を写した多くの眼底画像から、それらの共通部分を重ね合わせることで、広範囲の眼底の3次元形状を復元・表示することができるもので、その広範囲の眼底の3次元形状を復元・表示する方法及び装置を提供するものである。

【0007】本発明は、生体眼のレンズを単レンズでモデル化し、眼底の形状がほぼ球面であることを用いると、単レンズによる球面の像は2次曲面となり、カメラはこの2次曲面を様々な方向から撮影したものとみなせることから、複数の眼底画像に共通に含まれている特徴点を、2次曲面上で重ね合わせることで、2次曲面の形状と各画像を撮影した時のカメラのそれぞれの位置・姿勢を推定し、2次曲面の形状から単レンズのパラメータを求め、眼底の形状を復元することを可能にする。本発明は、複数の眼底画像、例えば9枚の眼底画像中より特徴点を抽出し、対応付けを行ない、次に、それら対応点を眼底球面の像である2次曲面上で重ね合わせることで、眼底の像の形状およびカメラの位置・姿勢を同時に推定し、ついで、推定された眼底球面の像の2次曲面のパラメータから、モデル化した単レンズのパラメータを求め、そして各カメラの位置・姿勢および眼の光学系をモデル化した単レンズのパラメータに基づいて、球面上に各眼底画像を投影し、眼底の3次元パターンを得る方法及び装置、さらにそれに用いるソフトウェアを提供するものである。

【0008】本発明は、(1) 眼の光学系を単レンズでモデル化し、(2) 眼底の形状がほぼ球面とみなせることを利用すると、(3) 眼底の単レンズによる像は2次曲面になり、(4) 眼底画像の歪み方は、この像に対するカメラの位置・姿勢を反映しており、歪み方の異なる眼底画像が同一の像を撮影したものであるとすることができ、(5) このことに基づき、各カメラの位置・姿勢および2次曲面の形状を推定し、(6) 眼底の形状を復元し、結果を3次元表示することで、眼底形状の疾患の部位の特定などが容易になることを見出してなされたものである。

【0009】本発明において、眼底カメラで得られた多方向からの複数の画像の処理に関し、次なる構成要素：1. 球面とみなした眼底形状（実際にはほとんど球面であることが知られている）

2. 眼球の角膜、水晶体によるレンズ光学系
 3. 1の球面が、2のレンズ系によって写像される、仮想的な2次曲面
 4. 光学的には、3の2次曲面上のパターンを多方向から撮影したことになる、眼底画像
 を認識するに至り、多方向眼底画像は、1の眼底球面上の眼底パターンを、2の光学系を通すことにより、3の2次曲面上にあることと等価になったパターンを、4の多数のカメラにより撮影したものであると解析できるので、このプロセスを逆にたどり、4の多数の画像から、それらが同一の3の仮想的な2次曲面を撮影したものであるという仮定からこの2次曲面を再現し、このような2次曲面を生成するような2のレンズ系を求め、同時に1の眼底球面を求めて、その球面上に眼底パターンを逆投影すること、そして以上の処理を、コンピュータ上で実現し、多方向（デジタル）眼底画像を入力することで、3次元眼底パターンをディスプレイ上に表示するシステムを構成したものである。従って、こうしたシステムを実行する及び／又は実現する装置及び方法、さらにはそれに用いるソフトウェアを含むものはすべて本発明の範囲内のものである。

【0010】本発明は、

〔1〕(A) 多方向から撮影された複数の眼底画像から対応点を検出する手段、(B) 該対応点に基づいて各眼底画像を撮影したカメラの位置及び姿勢を推定する手段、(C) 該推定されたカメラの位置及び姿勢に基づいて眼底面の眼の光学系を通した像である2次曲面を求める手段、(D) 眼の光学系を同定する手段、(E) 眼底球面を同定する手段、(F) 該同定された眼底球面への眼底パターンの逆投影をおこなう手段、及び(G) 3次元眼底パターンを表示する手段を備えており且つ眼底画像から眼底形状を3次元復元及び／又は表示することを特徴とする装置；

〔2〕(1) 多方向から撮影された複数の眼底画像をデジタル映像化して保持する手段、(2) 各画像から対応点を検出する手段、(3) 該対応点に基づいて各眼底画像を撮影したカメラの位置及び姿勢を最適化する手段、(4) 該最適化されたカメラの位置及び姿勢に基づいて眼底面の眼の光学系を通した像である2次曲面を最適化する手段、(5) 眼の光学系を同定する手段、(6) 眼底球面を同定する手段、(7) 該同定された眼底球面への眼底パターンの逆投影をおこなう手段、及び(8) 3次元眼底パターンを表示する手段を備えていることを特徴とする上記〔1〕記載の装置；

【0011】〔3〕(a) 多方向から撮影された複数の眼底画像を保持する手段、(b) 該複数の眼底画像をデジタル画像に変換する手段、(c) 複数の眼底画像から画像間に対応する点を抽出する手段、(d) 検出されたそれぞれの対応画像点から光線追跡をして、対応点どうしが空間で出会う点のすべてが2次曲面上に乗るように、各カ

メラの位置、姿勢を最適化計算する手段、(e) 上記の空間の対応点が一番よく乗る2次曲面を最適化計算する手段、(f) 上記の2次曲面に、眼底球面が写像されるような、眼のレンズに相当する光学系を求める手段、(g) 該光学系で上記の2次曲面に写像されるような、眼底球面の位置及び半径を求める手段、(h) 上記で同定された光学系を通して、上記で同定された眼底球面上へ、眼底画像上のパターンを逆投影する手段及び(i) 得られた眼底の3次元パターンを可視可能に表示する手段を含有していることを特徴とする上記〔1〕又は〔2〕記載の装置；

〔4〕 眼球内部の半球をカバーするに十分な数の眼底画像を使用することを特徴とする上記〔1〕～〔3〕のいずれか一記載の装置；

〔5〕 眼底カメラを備え且つ眼底カメラの撮像部がデジタルカメラに置き換えられていることを特徴とする上記〔1〕～〔4〕のいずれか一記載の装置；

【0012】〔6〕(A) 多方向から撮影された複数の眼底画像から対応点を検出し、(B) 該対応点に基づいて各眼底画像を撮影したカメラの位置及び姿勢を推定し、(C) 該推定されたカメラの位置及び姿勢に基づいて眼底面の眼の光学系を通した像である2次曲面を求め、(D) 眼の光学系を同定し、(E) 眼底球面を同定し、(F) 該同定された眼底球面への眼底パターンの逆投影をおこない、そして(G) 3次元眼底パターンを表示することを特徴とする眼底画像から眼底形状を3次元復元及び／又は表示する方法；

〔7〕(1) 多方向から撮影された複数の眼底画像をデジタル映像化して保持し、(2) 各画像から対応点を検出し、(3) 該対応点に基づいて各眼底画像を撮影したカメラの位置及び姿勢を最適化し、(4) 該最適化されたカメラの位置及び姿勢に基づいて眼底面の眼の光学系を通した像である2次曲面を最適化し、(5) 眼の光学系を同定し、(6) 眼底球面を同定し、(7) 該同定された眼底球面への眼底パターンの逆投影をおこない、そして(8) 3次元眼底パターンを表示することを特徴とする上記〔6〕記載の方法；

【0013】〔8〕(a) 多方向から撮影された複数の眼底画像を保持せしめ、(b) 該複数の眼底画像をデジタル画像に変換せしめ、(c) 複数の眼底画像から画像間に対応する点を抽出し、(d) 検出されたそれぞれの対応画像点から光線追跡をして、対応点どうしが空間で出会う点のすべてが2次曲面上に乗るように、各カメラの位置、姿勢を最適化計算し、(e) 上記の空間の対応点が一番よく乗る2次曲面を最適化計算し、(f) 上記の2次曲面に、眼底球面が写像されるような、眼のレンズに相当する光学系を求め、(g) 該光学系で上記の2次曲面に写像されるような、眼底球面の位置及び半径を求め、(h) 上記で同定された光学系を通して、上記で同定された眼底球面上へ、眼底画像上のパターンを逆投影し、次いで

- (i) 得られた眼底の3次元パターンを可視可能に表示することを特徴とする上記〔6〕又は〔7〕記載の方法；
 〔9〕 眼球内部の半球をカバーするに十分な数の眼底画像を使用することを特徴とする上記〔6〕～〔8〕のいずれか一記載の方法；
 〔10〕 眼底のデジタル画像の取得が、眼底カメラの撮

像部をデジタルカメラで置き換えて直接にデジタル画像化を果たすか、あるいは眼底写真をスキャナーによりデジタル化することを特徴とする上記〔6〕～〔9〕のいずれか一記載の方法；

〔11〕 次なる評価関数：

【数1】

$$E = \sum_{i=1}^M \left[\frac{1}{N_i - 1} \sum_{j \in D_i} [P_{ij} - \hat{P}_i]^2 \right] \quad (5)$$

（上記関数中の各記号の意味は下記するとおりのものである）を最小化するような、眼底面の像である2次曲面の形状、各カメラの位置・姿勢を求めることを特徴とする上記〔1〕～〔10〕のいずれか一記載の装置及び方法；

〔12〕 パウエル法などの最適化法で該評価関数を最小化して、眼底面の像である2次曲面の形状、各カメラの位置・姿勢を求めることを特徴とする上記〔1〕～〔11〕のいずれか一記載の装置及び方法；

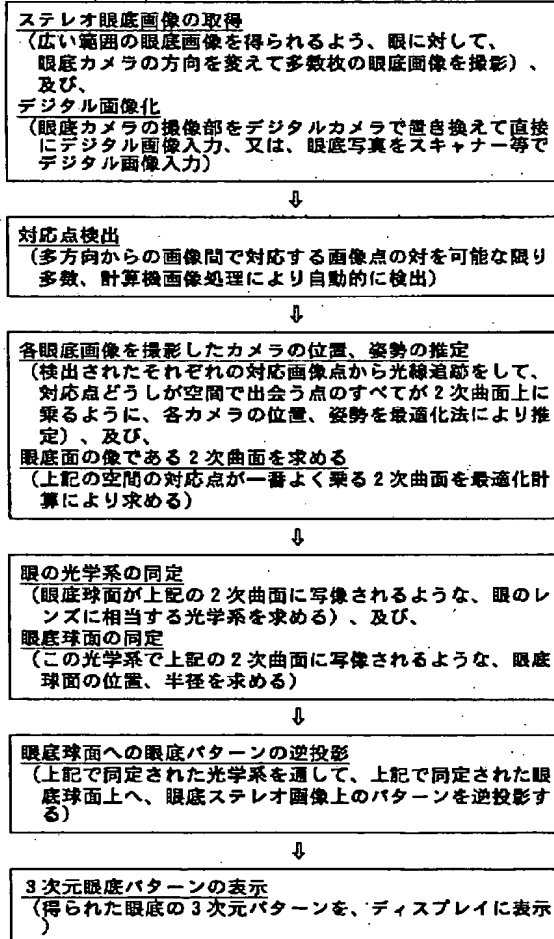
〔13〕 下記式(1)～(4)で表されるアルゴリズムを使用して、パラメータを計算して求めることを特徴とする上記〔1〕～〔12〕のいずれか一記載の装置及び方法；

〔14〕 上記〔1〕～〔13〕のいずれか一記載の装置及び方法のためのソフトウェアを提供する。

【0014】本発明は、次のフローチャート：

【表1】

多方向眼底画像からの眼底パターン立体復元における処理の流れ



で示される各処理を実行及び／又は実現する方法及び装

置、さらにはそのためのソフトウェアを提供する。

【0015】本発明のその他の目的、特徴、優秀性及びその有する観点は、以下の記載より当業者にとっては明白であろう。しかしながら、以下の記載及び具体的な実施例等の記載を含めた本件明細書の記載は本発明の好ましい態様を示すものであり、説明のためにのみ示されているものであることを理解されたい。本明細書に開示した本発明の意図及び範囲内で、種々の変化及び／又は改変（あるいは修飾）をなすことは、以下の記載及び本明細書のその他の部分からの知識により、当業者には容易に明らかであろう。本明細書で引用されている全ての参考文献は、説明の目的で引用されているもので、それらは本明細書の一部としてその内容はここに含めて解釈されるべきものである。

【0016】

【発明の実施の形態】〔眼底形状復元の原理〕眼底カメラと、眼底撮影の際の光学的な配置を図1に示す。眼底撮影装置の視野角は50度程度である。図1に示されている視野を広げるための接眼型広角眼底レンズは、使用する場合と使用しない場合がある。図1中の点線より右側の光学系は校正できるが、左側は個人差があるため校正できない（それぞれの眼底カメラの眼に対する撮影位置、姿勢は正確にはわからない。すなわち、正確に決めることは普通できない）。これまでには、各眼底カメラの位置を既知とし、さらに、眼底カメラの光学系の校正を事前に行った上で、3次元パターンを復元する手法というものが提案されている（出口光一郎、川又大典、水谷香苗、本谷秀堅、若林貴和：「眼底画像からの眼底形状の3次元復元・表示」、98-CVIM-111-7, pp.49-56, 1998-5）が、カメラ位置を未知とし、また眼底カメラの校正を行なわない手法及びそのための装置は存在しない。よって、本発明では、カメラ位置を未知とし、また眼底カメラの校正を行なわない手法及びそのための装置を提供するものである。

【0017】ところで、実際の眼球はわずかに歪んだ楕円球面であるが、その歪みはごくわずかであるため、球面とみなすことができる（眼圧があるため実際に殆ど球形である）。そこで、まず、眼底カメラの向きを変化させ、眼底の広い範囲を、隣り合うもの同士の一部が重なり合うよう、それぞれ異なる方向から複数の眼底画像、例えば9枚の眼底画像を撮影する。眼底専門の撮影技師の現在の撮影技術をもってすれば、9枚の眼底写真を撮影することにより、眼球内部の半球をカバーすることが可能である。なお、眼底画像は異なったカメラ位置からそれぞれ撮影され、その画像枚数は多ければ多い程好ましいが、通常は2枚以上、より好ましくは3枚以上、さらに好ましくは5枚以上、代表的には9枚以上などの多数枚を用意するのが好ましいが、それには限定されない。また眼底画像の数としては、眼球内部の半球をカバーするに十分な数であることも好ましい。こうして得られた9枚の眼底画像は、それぞれ眼の光学系により歪ん

でいる。この歪みのためステレオの原理で対応点の3次元形状を復元することはできない。また、画像は様々な方向から撮影されているので、それぞれの歪み方は異なっている。本発明では、この歪み方の違いを利用して3次元形状の復元を行なう。

【0018】いま、眼のレンズと接眼眼底レンズの組み合わせた光学系を単レンズでモデル化できると仮定する。すると眼底画像として観測されるのは、図3に示すような像である。各カメラは眼底の像を撮影しているとみなすことができる。眼底の像の形状は後で示すように2次曲面となる。そこで、9枚の眼底画像中より特徴点を抽出し、対応付けを行なう。次に、それら対応点を眼底の像の2次曲面上で重ね合わせることで、眼底の像の形状およびカメラの位置・姿勢を同時に推定する。次に、推定された眼底の像の2次曲面のパラメータから、モデル化した単レンズのパラメータを求める。各カメラの位置・姿勢および眼の光学系をモデル化した単レンズのパラメータが求められているので、球面上に各眼底画像を投影し、眼底の3次元パターンを得ることができ

【0019】〔眼底画像の結像系〕モデル化した単レンズの眼底側の焦点距離をF、像点側の焦点距離を

【0020】

【数2】

$$\frac{G}{F}$$

とする。眼底上の点(X, Y, Z)から、その点の単レンズによる像(a, b, c)への変換は式(1)で表される（マックス・ボルン、エミル・ウォルフ：光学の原理Ⅰ、東海大学出版会）。それぞれの座標系の原点は単レンズの焦点とした。このときの座標系を図4に示す。なお、眼底は眼の光学系を通し2次曲面上に像を結ぶ。そして眼底画像はそれをいくつかの角度から撮影しているものとみなせる。

【0021】

【数3】

$$\begin{cases} a = F \frac{X}{Z} \\ b = F \frac{Y}{Z} \\ c = \frac{G}{Z} \end{cases} \quad (1)$$

また、眼底を模した球面の中心を(Cx, Cy, Cz)、球面の半径をRとする。点(X, Y, Z)は球面上の点であるので、

【0022】

【数4】

$$(X - C_x)^2 + (Y - C_y)^2 + (Z - C_z)^2 - R^2 = 0 \quad (2)$$

を満たす。一方、この点の像(a, b, c)は、式(1)及び【0023】
式(2)から、次の2次曲面上の点となることがわかる。【数5】

$$\alpha_1(a^2 + b^2) + \alpha_2c^2 + \alpha_3ac + \alpha_4bc + \alpha_5c + 1 = 0$$

ただし

$$\begin{cases} \alpha_1 &= 1/F^2 \\ \alpha_2 &= (C_x^2 + C_y^2 + C_z^2 - R^2)/G^2 \\ \alpha_3 &= -2C_x/FG \\ \alpha_4 &= -2C_y/FG \\ \alpha_5 &= -2C_z/G \end{cases} \quad (3)$$

カメラ座標系をs-t-uとする。それぞれの眼底画像は未知の方向から式(3)の眼底の像を撮影したものなので、平行移動ベクトルtと回転行列Rを用いて、座標変換を式(4)のように表わすことができる(出口光一郎: 画像と空間- コンピュータビジョンの幾何学, 昭晃堂)。

【0024】

【数6】

$$\begin{bmatrix} s \\ t \\ u \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} + t \quad (4)$$

カメラ座標系 s-t-uから、画像上の点(x, y)への写像は正射影とみなす。未知パラメータは、単レンズの焦点距離F、G、2次曲面のパラメータ $\alpha_1, \dots, \alpha_5$ 、9枚の画像それぞれに対するカメラの位置・姿勢を表わすt, Rである。

【0025】〔眼底パターンの復元手法〕まず、各眼底画像から特徴点を抽出し、画像間に対応付けを行なう。このような眼底画像から対応点を精度良く安定に抽出するアルゴリズムが開発されている(出口、「コンピュータビジョンのための幾何学(2)-ステレオの仕掛けを解き明かす-」、情報処理学会誌, 37-7, pp.662-670 (1996))。該情報処理学会誌, 37-7, pp.662-670 (1996)に従って、これらの画像上の対応点を自動的に抽出することができる。もちろん、画像上の対応点の抽出は手作業で行うこともできるし、さらには適切なプログラムを作製してコンピュータを使用しての自動化された方法によることもできる。この特徴点として、代表的には眼底の血管の分岐点などを選択することができる。なお、造影剤などを使用して、血管などを造影すると、より多くの対応点を抽出できるけれど、本発明に従えば、必ずしも造影剤などを使用する必要はない。各眼底画像から抽出された特徴点は眼底の像である2次曲面上の1点とみなすことができる。この2次曲面の形と各々のカメラの位置・姿勢を定めれば、画像上の特徴点に対応する2次

曲面上での点の位置が定まる。ところで眼底の実像上の全ての特徴点が、全てのカメラにより撮影されるわけではない。ここでは眼底の像上の特徴点を

【0026】

【数7】

$$P_i \quad (1 \leq i \leq M)$$

眼底を撮影するカメラ番号を

【0027】

【数8】

$$j \quad (1 \leq j \leq N)$$

とおき、特徴点 P_i を撮影したカメラ番号の集合を D_i とおく。また、点 P_i のカメラjにある像を

【0028】

【数9】

$$p_{ij} \quad (j \in D_i)$$

とおく。眼底画像中の点

【数10】

$$p_{ij}$$

は、空間中の直線に対応している(図5)。この直線を視線と呼ぶ。

【0029】点

【数11】

$$p_{ij}$$

に対応する視線は、式(4)及び(5)より求めることができる。ただし、ここでは推定すべきパラメータ数を減らすために、カメラによる結像を正射影であるとみなすことにした。このことにより、カメラ1台のもつ自由度を

5とみなせることになる。

【0030】眼底の像の形状をあらわすパラメータ5つを与えると、仮の2次曲面がひとつ定まる。さらにカメラjの位置・姿勢を定めるパラメータ5つを与えると、点

【数12】

$$P_{ij}$$

に対応する視線と仮の2次曲面との交点として、2次曲面上の点 P_{ij} が定まる。 P_{ij} は、観測誤差やパラメータの推定誤差のため P_i と必ずしも一致しない。各眼底画像上の点 P_i ($j \in D_i$)に対応する仮の2次曲面上の点 P

$$E = \sum_{i=1}^M \left[\frac{1}{N_i - 1} \sum_{j \in D_i} \left[P_{ij} - \hat{P}_i \right]^2 \right] \quad (5)$$

を最小化するような上記の各パラメータを求めることとする。ただし、 N_i は集合 D_i の要素の数とする。この評価関数の最小化にはパウエル(Powell)法などの最適化法を用いることで、実現できる。パラメータ数は $5N+5$ である。求められた眼底の像から眼底となる球面への写像は、式(1)の逆変換で求まる。この時のF、Gの値を設定する必要がある。式(3)より、

【0033】

【数15】

$$F = \frac{1}{\sqrt{\alpha_1}}$$

として求めることができる。Gの値は眼球内の像空間X-Y-Z座標のスケール変換にしか作用しないので、適当に定めてよい。このようにして、眼底形状が球面であることのみに基づいて、各カメラの位置・姿勢と眼底の像の形状を同時に推定し、眼底の3次元形状の復元・表示が可能となる。

【0034】以下では実施例を掲げ、本発明を具体的に説明してあるが、この実施例は単に本発明の説明のため、その具体的な態様の参考のために提供されているものである。これらの例示は本発明の特定の具体的な態様を説明するためのものであるが、本願で開示する発明の範囲を限定したり、あるいは制限することを表すものではない。本発明では、本明細書の思想に基づく様々な実施形態が可能であることは理解されるべきである。全ての実施例は、他に詳細に記載するもの以外は、標準的な技術を用いて実施したもの、又は実施することのできるものであり、これは当業者にとり周知で慣用的なものである。

【0035】〔実施例〕実施例には、眼底の実画像9枚

ij を求め、それらの重心

【0031】

【数13】

$$\hat{P}_i$$

を P_i の推定位置とする。眼底の像の形状とカメラの位置・姿勢が正しく推定できていれば、各 i について点 P_{ij} ($j \in D_i$)は一致する。そこで、次の評価関数を最小とする2次曲面の形状、各カメラの位置・姿勢を求める。対応する特徴点が2次曲面上で一致すればこの評価関数の値は、0となる。

【0032】そこで、

【数14】

(図6及び図7)を用いた。まず、各眼底画像より特徴点を抽出し、対応づけを行なう。この作業は手作業で行なった。まず各眼底画像の赤色成分を用いて2値化、細線化(図8及び図9)を行い、血管を抽出する。細線化された血管の分岐点や曲率の大きな点を特徴点として抽出し、対応づけを行なった。対応付けられた特徴点の一部を図10及び図11に示す。図6～11までを参照すれば明らかな如く、図10及び図11は、図6及び図8の右側と図7及び図9との間で現れるものについての対応づけを表す。対応付けは、9枚の画像の全組合わせで行った。9枚の画像から得られた特徴点の数は、のべ177点であった。これら特徴点は眼底上の78点に対応していた。ここで用いた特徴点は、2枚以上の画像間で対応づけられたものである。78点のうち、画像4枚で対応付けられたものが2点、3枚で対応付けられたものが16点、残り60点が2枚の画像の間で対応付けられた。対応付け特徴点の数は、特に限定されないが、通常は約100箇所程度を選択することがなされる。

【0036】次に式(5)で表される評価関数Eの値をパウエル法により最小化する。全パラメータの初期値は式(3)の $\alpha_5 = 1$ 、それ以外を全て、0とした。これは、全カメラが同じ姿勢で原点に位置し、また虚像として平面($z = -1$)を与えたことを意味する(図12)。つまり、図12は初期状態を示している。パウエル法を直接用いると、パラメータの数が多いこともあり、局所解に陥ることが多かった。そこで、まず最初に2次曲面のパラメータおよびカメラの姿勢パラメータを初期値で固定したまま、カメラの位置のみを変化させることで評価関数Eを最小化した。このことにより、図13に示したように、特徴点のおおまかな位置合わせを行なうことができる。つまり、図13はカメラ位置のみの移動による収束結果を表している。図12及び図13の特徴点のばらつきを平面($z = -1$)内で表示したものを図15及び図16に示す。

つまり、図15は初期状態を示し、図16はカメラ位置のみの移動による収束結果を表している。

【0037】ついで、全カメラの位置・姿勢と、2次曲面の形状を変化させることにより、評価関数を最小化した。この間、9枚の画像のうち、中央にあるものは原点に固定しておいた。得られた2次曲面上の特徴点の分布を図14に示す。対応する特徴点どうしが重なり、湾曲した2次曲面が得られている。この時、9つのカメラの位置・姿勢を表すパラメータも同時に推定された。パウエル法による繰り返し計算により、Eを最小化するカメラ位置・姿勢および2次曲面のパラメータを求めた。Eを最小化する過程におけるカメラの中心位置の変化を図17に示す。はじめ、全カメラは原点に位置しているが、Eの減少とともに周辺8方向へと移動していった。

【0038】得られた2次曲面の2次の係数より、目の光学系をモデル化した単レンズの焦点距離Fを求めることができる。Gを適当に与え、2次曲面上の点の座標値を式(4)により変換することにより、眼の光学系の物空間における眼底上のパターンを得た。眼底面の像上の特徴点の各点を、式(4)により変換したものを図18に示す。つまり、図18は、特徴点の分布を表し、ここでは眼底の像から球面への変換結果を示しているのであって、この変換により、眼の光学系の像空間より物空間へと変換されているのである。得られた眼底の像が式(3)を満足しているため、式(4)の変換により、球の具体的な式を陽(explicit)に使うことなく、球面上に分布する特徴点を得ることができている。

【0039】評価関数Eを最小化することで得られた各カメラの位置・姿勢および眼底面の像である2次曲面の形状を元に、各眼底画像上の全点を、この2次曲面上に投影することができる。ついで2次曲面上に投影されたこれら画像上の点を、式(4)により変換することで、眼底上のパターンを得ることができる。9枚の眼底画像それぞれの全点を、推定されたパラメータを元に球面へと変換した結果を図19に示す。図19では、9枚の眼底画像の球面での重なり具合が示されている。互いに一部分重なり合いながら、眼底の広い範囲を覆っている様子が分かる。最終結果として得られた眼底パターンを図20及び図21に示す。複数の眼底画像の重ね合わせにより、眼底の広い範囲にわたるパターンを得ることができた。異なる画像の間にまたがる血管などは、きちんと連なって表示されている。球面上のパターンが得られているので、任意の角度からの画像を提示することができる。

【0040】本発明により、様々な角度より取得した複数枚の眼底画像から、眼底形状を復元・表示する手法及び装置、さらにはソフトウェアが提供される。本発明の方法及び装置は眼の光学系を単レンズでモデル化し、眼底の形状が球面であることを利用する。単レンズによる球面の像は式(3)で表される2次曲面となり、各眼底画像をこの像を撮影したものとみなされ、取得される眼底

画像の歪みは、この眼底の像とカメラとの位置関係により定まり、歪み方の異なる眼底画像をそれぞれ眼底の像上に投影し、ぴったりと重なり合うよう各カメラの位置・姿勢および2次曲面の形状を推定し、ついで、得られた2次曲面の形状から眼底形状を復元することを可能ならしめる。

【0041】こうして復元されて表示された3次元眼底画像は、実際の眼底の様子を模擬しているもので、眼底血管などの立体的な位置関係などを正確に把握することができて非常に有用であると評価される。また、本発明で得られた3次元眼底画像は、眼の疾患の診断、治療のみならず、全身疾患の状態を知ることにも利用できて有用である。したがって、本3次元眼底画像は、個人差のある角膜、水晶体、硝子体を通して撮影されているにもかかわらず、眼底血管などの立体的な位置関係などを正確に把握することができ、医師間のオリエンテーション、レーザー治療のための位置表示にも効果的で、例えば、眼底に生じた出血などをレーザーなどを使用して外科的に止血するなどの治療を行う場合にも、正確な血管などの位置を決めることができ、有効かつ安全な治療を可能にする。

【0042】本発明の好ましい態様では、眼底カメラとそれを使用して得られる画像を処理する画像処理装置とからなるシステムとして装置を構成することができ、該画像処理にあたり、コンピュータによるデータ演算を行うことで実現される。該システムには、記憶装置が搭載されているのが好ましい。また該システムには、ディスプレイ装置が接続されているものも好ましい。本発明では、ハイビジョンカメラと組み合わせた装置及び画像処理法が提供できる。

【0043】

【発明の効果】本発明により、任意の角度の3次元眼底画像を表示することが可能となり、的確な画像診断、医者間のオリエンテーション(ビジュアルに実体に近い画面を用いてお互いの情報伝達をすることが求められている)、患者に対するインフォームド Consentのための説明などが容易にできるようになる。さらに、レーザー治療等の眼科手術での正確な位置把握等を容易に行うことが出来るようになる。本発明は、前述の説明及び実施例に特に記載した以外も、実行できることは明らかである。上述の教示に鑑みて、本発明の多くの改変及び変形が可能であり、従ってそれらも本件添付の請求の範囲の範囲内のものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】眼底カメラと、眼底撮影の際の光学的な配置を示し、眼底画像撮影の光学系の構成を表す。

【図2】眼底を多方向から撮影する様子を示す図。

【図3】眼底画像の結像モデルを示す。

【図4】眼底画像の結像座標系を示す。

【図5】推定される2次曲面と各画像の対応点からの視

線との交点との関係を示す。本発明では、同一の特徴点の2次曲面上でのばらつきを最小にするようにする。

【図6】眼底撮影カメラで撮影された9枚の画像のうちの中央(A-C)及び左(D-E)の6枚を示す。

【図7】眼底撮影カメラで撮影された9枚の画像のうちの右(G-I)の3枚を示す。

【図8】図6を基に血管部分を細線化した画像(この画像から対応点を抽出した)を示す。

【図9】図7を基に血管部分を細線化した画像(この画像から対応点を抽出した)を示す。

【図10】細線データ上で対応付けられた特徴点(一部)を示す。眼底の右上部の画像の間での対応づけを示す。

【図11】細線データ上で対応付けられた特徴点(一部)を示す。眼底の中央部の画像の間での対応づけを示す。

【図12】特徴点の重ね合わせによる眼底の像の構築の模様を示す。9枚の眼底画像中の特徴点を、2次曲面上に投影した結果を表示する。本図は初期状態($z=-1$)を示す。

【図13】特徴点の重ね合わせによる眼底の像の構築の

模様を示す。9枚の眼底画像中の特徴点を、2次曲面上に投影した結果を表示する。本図はカメラの位置のみの移動による収束結果を示す。

【図14】特徴点の重ね合わせによる眼底の像の構築の模様を示す。9枚の眼底画像中の特徴点を、2次曲面上に投影した結果を表示する。本図は収束結果を示す。

【図15】 $z=-1$ 面内での特徴点の動きを示す。本図は初期状態を示す。

【図16】 $z=-1$ 面内での特徴点の動きを示す。本図はカメラの位置のみの移動による収束結果を示す。

【図17】パウエル法によるカメラ位置の移動の様子を示す。スタート時は全て原点にいる。中央のカメラは原点に留めた。

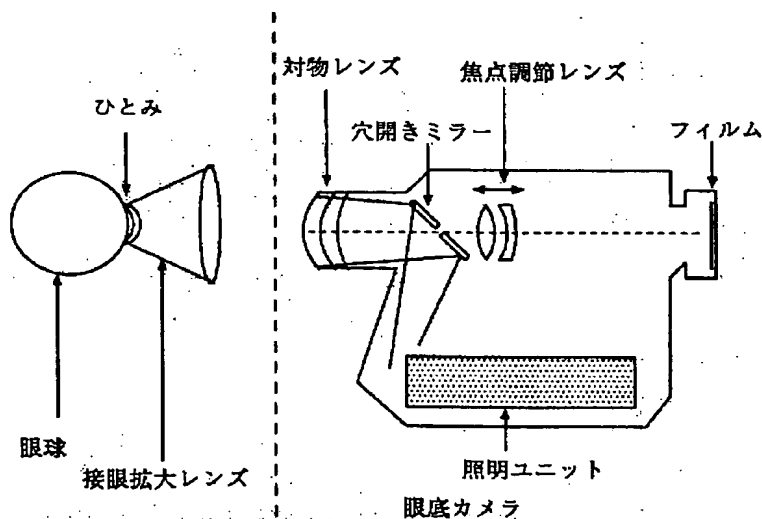
【図18】眼底の像から球面への変換結果を示す。この変換により、眼の光学系の像空間より物空間へと変換される。本図は特徴点の分布を示す。

【図19】眼底の像から球面への変換結果を示す。この変換により、眼の光学系の像空間より物空間へと変換される。本図は9枚画像の、球面での重なり具合を示す。

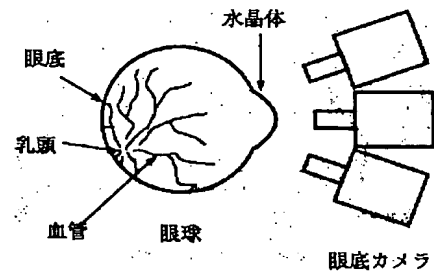
【図20】復元された眼底パターンを示す。

【図21】復元された眼底パターンを示す。

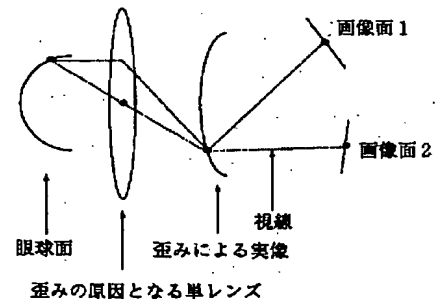
【図1】



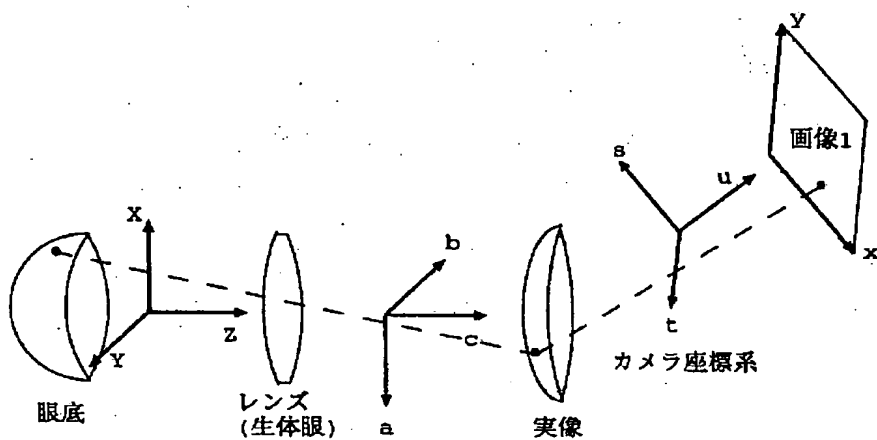
【図2】



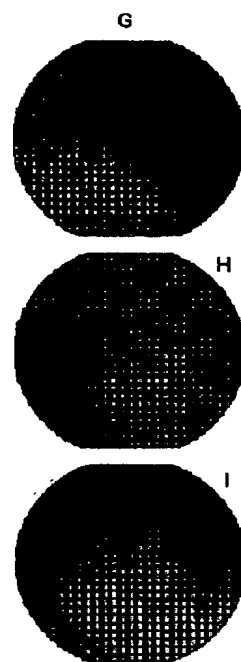
【図3】



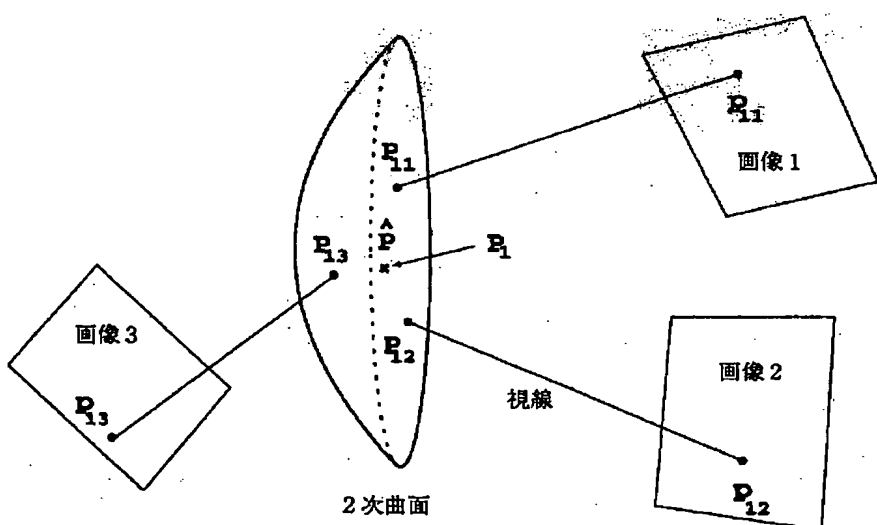
【図4】



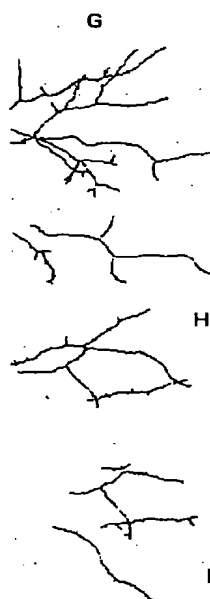
【図7】



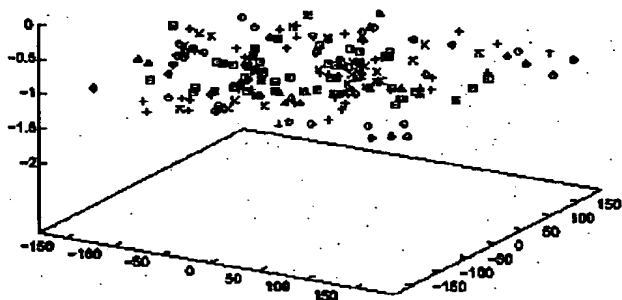
【図5】



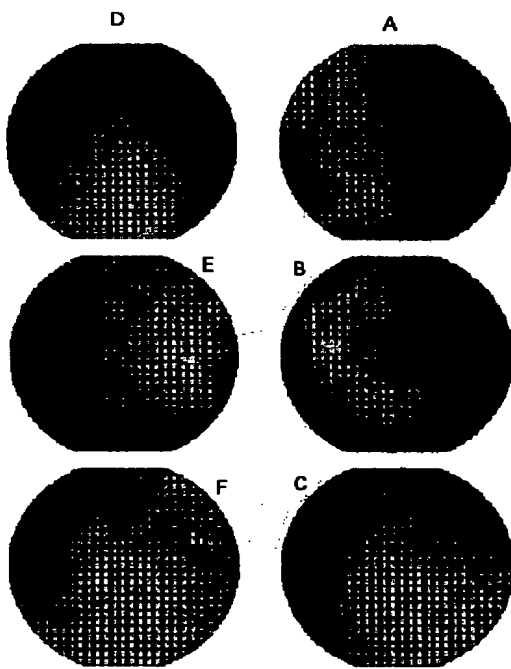
【图9】



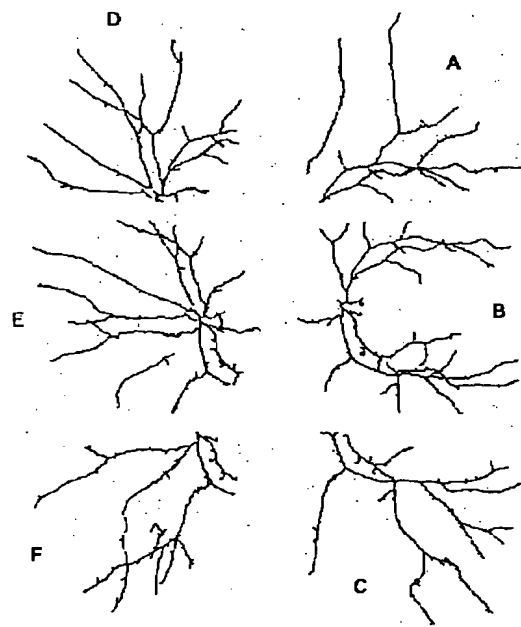
【図 12】



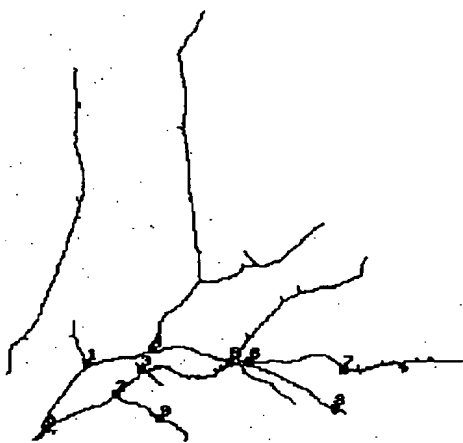
【图6】



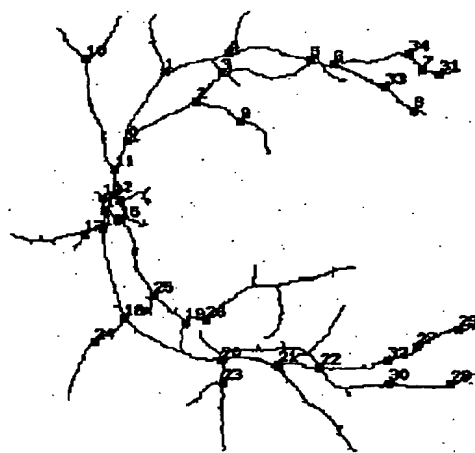
【图8】



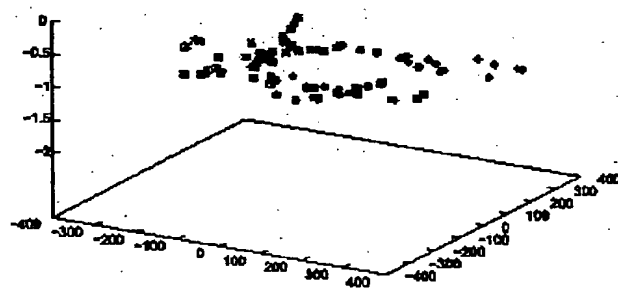
【图10】



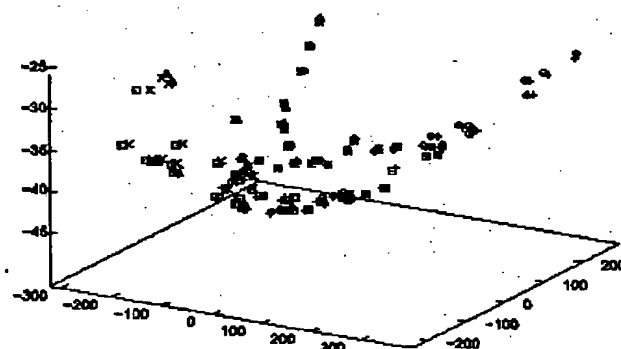
【图11】



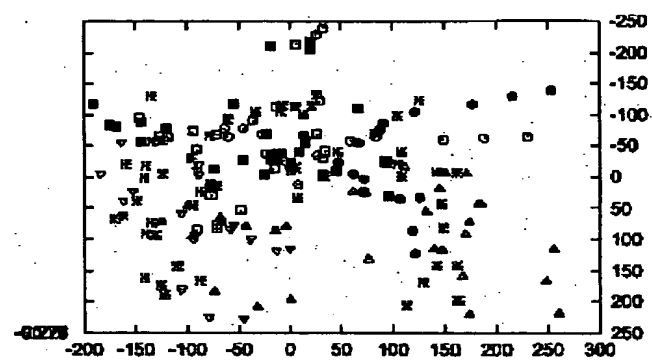
【図13】



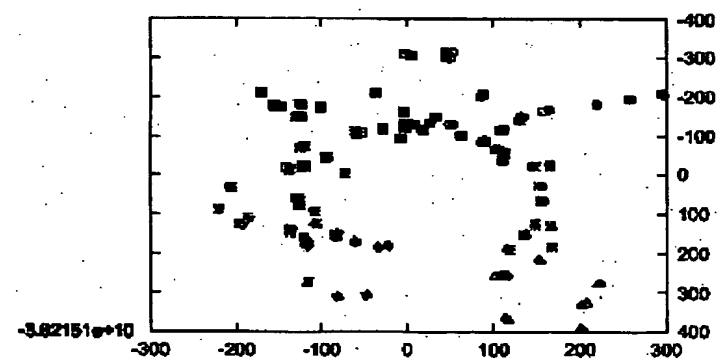
【図14】



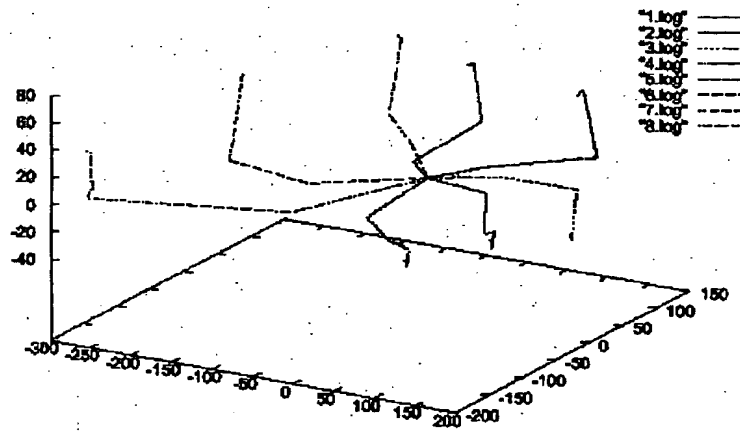
【図15】



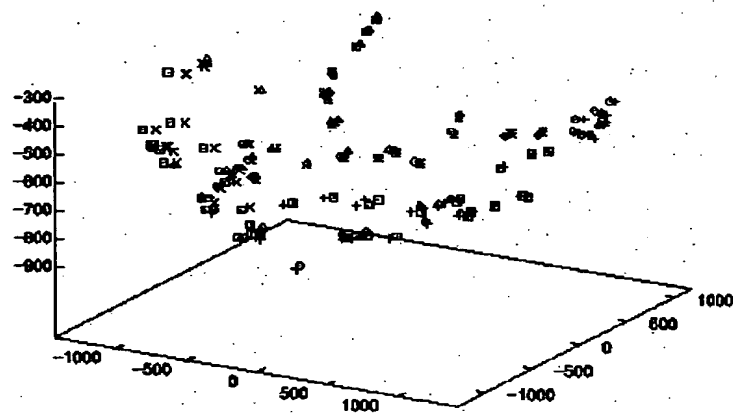
【図16】



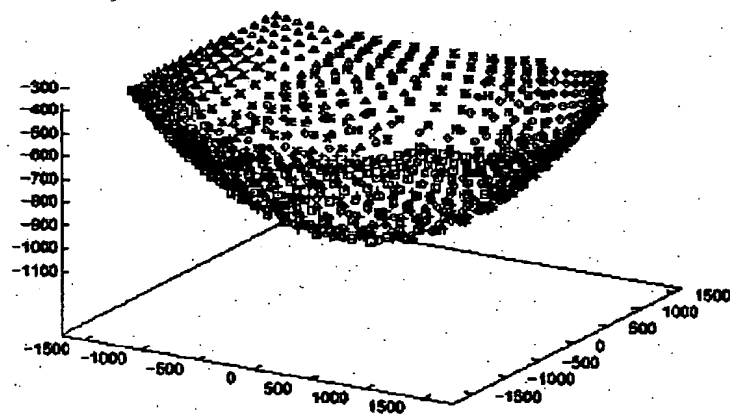
【図17】



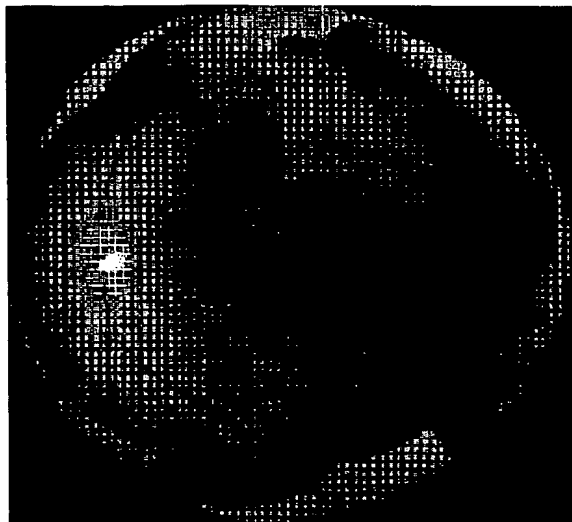
【図18】



【図19】



【図20】



【図21】

